动 物 学 研 究 2011，Apr. 32(2): 196−203 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research DOI：10.3724/SP.J.1141.2011.02196

# 滇池金线鲃亲鱼培育、繁殖力以及卵径大小与胚胎存活率的关系

潘晓赋, 杨君兴*, 陈小勇*, 李再云

(中国科学院昆明动物研究所 遗传资源与进化国家重点实验室, 云南 昆明 650223)

**摘要：**2007—2010 年, 对滇池金线鲃 (*Sinocyclocheilus grahami*) 进行了亲鱼培育、繁殖力和卵径(egg diameter, ED)大小的研究。滇池金线鲃的催产率、核偏位率和孵化率分别由 2007 年的 25.2%、61.5%和 30.4% 到 2010 年的 91.3%、85.2%和 44.5%。四年间这 3 项指标均有不同程度提高, 其中, 催产率提高的幅度最大。提供适合滇池金线鲃营养全面的饵料可以保证亲鱼培育的最佳效果, 获得高质量的鱼卵和鱼苗。滇池金线鲃绝对怀卵量与体长的关系是 $F$=0.0004826$SL^{3.166}$($R^2$=0.6424, $P$ <0.05)。四年来滇池金线鲃的平均产卵量为(2 118.4±899.1)粒, 平均绝对怀卵量为(2 402.9±881.9)粒, 平均相对怀卵量为(70.4±20.8)粒。产卵量、绝对怀卵量和相对怀卵量都有随着体长增加而增加的趋势。卵的大小与胚胎存活相关, 在胚胎发育的前两天, 不同批次胚胎的死亡呈现一种稳定的或低的死亡率; 而后 5~7 d 不同大小的卵呈现不同的死亡率, 即小的卵具有更高的死亡率; 而卵径＞2.0 mm 的胚胎死亡率趋于稳定; 大的卵有更高的生存潜力, 能保证仔鱼开口前继续完善身体器官的形成或发生所需要的能量。

**关键词：**滇池金线鲃; 亲鱼培育; 繁殖力; 卵径大小
**中图分类号：**S961; Q959.468 **文献标志码：**A **文章编号：**0254-5853-(2011)02-0196-08

# Broodstocks management, fecundity and the relationship between egg size and embryo survival ability of *Sinocyclocheilus grahami*

PAN Xiao-Fu, YANG Jun-Xing*, CHEN Xiao-Yong*, LI Zai-Yun

(*State Key Laboratory of Genetic Resources and Evolution, Kunming Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223 China*)

**Abstract:** Broodstock management, fecundity and egg size of the golden-line barbel *Sinocyclocheilus grahami* were studied from 2007 to 2010. The induced spawning success of female *S. grahami* was 25.2% in 2007 and dramatically increased to 91.3% in 2010. The nucleus deviation rate and hatching success were 61.5% and 30.4%, respectively, in 2007 and increased to 85.2% and 44.5%, respectively, in 2010. Providing nutritious food for broodstocks of *S. grahami* can ensure optimum breeding conditions as well as high-quality eggs and fingerlings. There also seems to be a relationship between absolute fecundity ($F$) and standard length ($SL$), as described by the power-exponent function $F$=0.0004826$SL^{3.166}$ ($R^2$=0.6424，$P$<0.05). The average of number of spawn egg was 2118.4±899.1 from 2007 to 2010, the average of absolute fecundity was 2402.9±881.9 from 2007 to 2010, and the average of relative fecundity was 70.4 ±20.8 from 2007 to 2010. The number of spawn egg, absolute fecundity and relative fecundity increased in individuals with a longer body length. Additionally, egg size contributed to the survival rate of embryos. The different batches reached an asymptotic, low or stable embryonic mortality during the first two days; the balance was broken in the subsequent seven days, as high embryonic mortality was observed in smaller eggs. The mortality of embryos from eggs larger than 2.0 mm was, contrastingly, rather stable. Embryos from bigger eggs have stronger survival potential, as bigger eggs can provide more energy and thus, a more favorable environment for early development.

**Key words:** *Sinocyclocheilus grahami*; Broodstocks management; Fecundity; Egg size

社会日益增长的物质生活需求和拯救珍稀物种的环保要求都迫切要求对野生特有珍稀鱼类进

收稿日期：2010-12-21；接受日期：2011-03-21
基金项目：全球环境基金会/世界银行项目(GEF-MSP grant No. TF051795); 云南省发展和改革委员会项目(滇中主要湖泊土著特有鱼类迁地保育人工繁殖与持续利用试验示范); 中国科学院西部之光项目(292006312D11033); 云南省科技厅社会发展科技计划项目(2008CA001); 国家重点基础研究发展计划项目(2007CB411600)
*通讯作者(Corresponding authors)， E-mail: 杨君兴：yangjx@mail.kiz.ac.cn; 陈小勇：chenxy@mail.kiz.ac.cn

行驯养和人工繁殖的研究。但是, 大多数野生鱼类从野生环境迁移到人工池塘饲养时, 往往不能实现自我繁衍。在人工控制的环境条件下注射人工合成激素, 是实现野生鱼类的自我繁殖或人工助产的有效途径之一(Slater et al, 1995; Brzuska, 2003; Yang et al, 2007; Gullu et al, 2008; Pan et al, 2009a)。鱼卵质量被定义为鱼卵具有被受精并完成随后胚胎发育的能力(Brooks et al, 1997; Bonnet et al, 2007)。了解引起鱼卵质量变化的因素, 并有针对性调控这些因素以达到提高鱼卵质量, 是实现人工繁殖的关键。通常认为鱼卵质量与外部环境和繁殖条件密切相关, 即鱼卵的质量受人工诱导亲鱼成熟的方法、环境和营养条件等因素影响(Cadrin et al, 2005)。亲鱼培育方案直接关系到性腺成熟度、催产率、鱼卵的受精率和孵化率, 完善的培育方案能显著提高鱼卵与仔鱼的质量 (Izquierdo et al, 2001)。在生产实践中, 通常认为在亲鱼繁殖之前的几个月开始投喂高质量的饲料可以显著地改善其繁殖性能(Izquierdo et al, 2001)。繁殖力(fecundity)是衡量鱼类繁殖性能的主要指标之一, 而繁殖力常常使用怀卵量和产卵量作为评价指标(Yin, 1995)。卵径大小(egg size)对鱼的早期发育和存活具有重要的生物学意义, 是评价鱼卵质量最常用的参数之一(Yin, 1995)。无论是满足商业生产还是增殖放流对鱼苗的需要, 一个完善的亲鱼培育方案, 对于获得大量高质量的鱼卵和鱼苗显得尤为重要, 是其实现规模化生产和有效物种进行迁地保育、恢复野外种群的前提条件。

截至目前, 金线鲃属（*Sinocyclocheilus*）鱼类记载有 55 种, 广泛分布在云贵高原及广西壮族自治区(Zhao & Zhang, 2006)。以往有关金线鲃属鱼类的研究多集中在新种描述和系统发育研究(Chu & Cui, 1985; Wang et al, 1999), 而生态生物学的研究较少(Zhao & Zhang, 2009)。目前, 仅见于滇池金线鲃（*Sinocyclocheilus grahami*）、抚仙金线鲃(*Sinocyclocheilus tingi*) 和尖头金线鲃(*Sinocyclocheilus oxycephalus*)的繁殖研究报道, 内容涉及亲鱼培育、人工繁殖、仔稚鱼食性转化和生长(Yang et al, 2007; Pan et al, 2009a, b; Yan et al, 2009)。历史上, 滇池金线鲃(*Sinocyclocheilus grahami*)是滇池沿岸渔民的主要渔获对象。酷渔滥捕、围湖造田、水质污染和盲目引种都是滇池金线鲃生存所面临的威胁因素(Chen et al, 1998; Pan et al, 2009c; Zhao & Zhang, 2009)。该物种于 1989 年被列为国家 II 级保护动物, 在《中国濒危动物红皮书·鱼类》中被列为濒危等级(Yue & Chen, 1998)。本文旨在通过对滇池金线鲃亲鱼培育、繁殖力和鱼卵质量的研究, 探讨在不同培育方式下亲鱼的繁殖潜力, 以期优化滇池金线鲃亲鱼培育方案, 提高滇池金线鲃鱼卵和仔鱼品质。

## 1　材料与方法

### 1.1　亲本来源与饲养方案

亲本系 2005 年 5—7 月采集自昆明嵩明牧羊河, 饲养在中国科学院昆明动物研究所珍稀鱼类保育研究基地(海拔：2 008 m; N：25°02′37.2″, E：102°55′24.3″)。2006 年之前, 亲本从野外引种到基地后, 主要进行适应性驯化饲养, 解决亲鱼的饵料和日常管理等问题, 亲鱼的培育在 2006 年 1 月—2010 年 4 月间进行, 具体的亲鱼培育过程如下：

2007 年度的亲鱼培育措施：2006 年 1 月—2007 年 4 月, 将滇池金线鲃亲鱼饲养在 300 $m^2$、水深为 1.5 m 的泥底池塘中, 全年投喂 111 鲤鱼种鱼饲料(颗粒直径=2.0 mm, 通威股份有限公司昆明分公司)。采用自然水温, 全年水温范围为 7～28 ℃, 水温过高和过低时, 采用注水降低或升高水温。2007 年 3 月进行人工繁殖试验。

2008 年度的亲鱼培育措施：2007 年 5 月—2008 年 1 月, 亲鱼的培育方案同上一年度; 2008 年 2 月—4 月将鱼转入在面积为 50 $m^2$、水深为 1.2 m 的水泥池中, 饲养期间以投喂 111 鲤鱼种鱼饲料为主, 并混合部分粗蛋白含量 40%的粉状饲料, 并逐渐增大粉状饲料的投喂量。

2009 年度的亲鱼培育措施：2008 年 5 月—10 月 31 日, 亲鱼饲养在面积为 50 $m^2$、水深为 1.2 m 的水泥池中, 饲养期间投喂 111 鲤鱼种鱼饲料; 2008 年 11 月 1 日以后陆续将亲鱼放入 2.0 m×1.0 m×1.2 m 玻璃水族缸中强化饲养, 投喂粗蛋白含量 40%的粉状饲料为主, 并混合部分活饵。水族缸水位保持在 0.8 m, 水的过滤速度为 18 L/min, 实时溶氧量>6 mg/L, 在整个试验过程中, 水温控制在 16～21℃。在进行人工繁殖时, 亲鱼至少在水族缸中饲养 30 d。

2010 年度的亲鱼培育措施：2009 年 5 月—2010 年 3 月, 全年保证亲鱼各个时期的营养, 全年饲养在玻璃缸内, 饵料主要以 111 鲤鱼种鱼饲料和蛋白含量为 40%的粉状饲料为主, 辅以活饵、改善繁殖

的矿物质和维生素等。水温控制在16～21℃，并营造流水环境。

### 1.2 亲鱼的日常管理

1.2.1 亲鱼的选择标准 选作繁殖用的雌鱼，一般为3龄以上、体重30 g以上；雄鱼2龄以上、体重20 g以上。具体要求为体色鲜艳、体质健壮、活动能力强、鳞片和鳍条完整，在饲养期间没有发生过鱼病。在选育过程中，为防止种质退化，及时淘汰自然突变产生的不良个体。

1.2.2 雌雄鉴别 在非繁殖季节，滇池金线鲃雌雄第二性征不明显。在繁殖季节，滇池金线鲃雌雄可供区分的第二性征不多。主要的区别特征为：雌鱼腹部外观饱满、膨大而柔软，泄殖腔较大、红肿突出；雄鱼腹部狭长略硬，泄殖腔较小、略向内凹不红肿。

1.2.3 培育池与亲鱼放养 滇池金线鲃属于小型鱼类，培育池面积不宜过大，养殖池塘以50~200 $m^3$、水深以1.0~1.5 m为宜，具体要求背风向阳、排灌方便。便于排水，捕捞亲鱼进行检查。滇池金线鲃养殖密度通常要低(<3$kgm^{-3}$)，雌雄比1∶1.5。放养前用高锰酸钾全池泼洒消毒，然后注入新水，用遮光率90%的黑色遮光网遮盖，避免阳光直射。池内每5 $m^2$布置一个砂头充气，增加池内溶氧。

### 1.3 人工繁殖与孵化

参照滇池金线鲃人工繁殖方法(Yang et al, 2007)，催产素采用马来酸地欧酮(DOM，宁波第二激素厂)和促黄体素释放激素$A_2$(LHRH-$a_2$，宁波第二激素厂)。剂量按每公斤体重1 mg马来酸地欧酮+ 1 μg促黄体素释放激素$A_2$，雄鱼注射量减半，用0.9%的生理盐水稀释混合后，肌肉注射。注射后24 h左右施行人工助产、干法受精。

在进行人工繁殖之前，测量每条雌鱼产卵前的体重(spawn before body weight, W)、产卵后的体重(spawn after body weight, $W_a$)、体长(standard length, SL)、全长(total length, TL)和挤出的未受精时的卵重(egg weight, EW)；计数每条雌鱼产出的鱼卵数量，具体方法为取出0.2 g左右未受精的卵子进行计数，并测量卵膜未膨大时的卵径(egg diameter, ED)。完成人工授精操作后，鱼卵及时用霉菌净(重庆富尔家动物药业有限公司)消毒15 min，从每尾雌鱼采集到鱼卵中取出50粒放在塑料盆中孵化，并在蔡司解剖镜(Zeiss Stemi 2000-C, Germany)下，计数其受精和胚胎发育各阶段的死亡数，胚胎发育时相及名称依据Ma et al(2008)。

### 1.4 数据收集

怀卵量(fecundity)是指成熟雌鱼的怀卵粒数，一般又称绝对怀卵量(absolute fecundity, *F*)；相对怀卵量(relative fecundity, *RF*)是指雌鱼单位体重产出的卵粒数，即$RF = F/W_a$，式中*F*是绝对繁殖力，$W_a$是产卵后雌鱼的体重。产卵量(number of spawned eggs, *PE*)是指通过人工繁殖挤出雌鱼的鱼卵粒数。催产率(induced spawning success, *IS*)是指产卵雌鱼数，占催产雌鱼数的百分比，即$IS=(N_h/N_t)\times100$，式中$N_h$为产卵的雌鱼数量，$N_t$为全部催产雌鱼的数量；产出率(spawning success, *S*)是用来评价每个雌鱼的催产效果，即$S=(PE/f)\times100$，式中*f*是根据全长-绝对怀卵量相关公式所推算的怀卵量。肥满度(condition factor, CF)：$CF=W/\hat{W}$，式中*W*是实测体重，$\hat{W}$为按长重相关公式推算的体重(Yin, 1995; Kreiner et al, 2001)；核偏位率(nucleus deviation rate, *ND*)是指从每尾雌鱼所产出的鱼卵中随机抽取20粒，放置于10%的醋酸溶液中，根据观察核偏离情况确定鱼卵潜在的受精率，即$ND=(N/20)\times100$，式中*N*表示发生核偏离的鱼卵粒数。胚胎存活率(rate of embryonic survival)是指胚胎发育到某一发育时相时存活的胚胎数量与所观察胚胎数量总数的比值。孵化率(hatching success)是出膜的仔鱼数量与总受精鱼卵数的比值。生存率(survival success)是指仔鱼出膜时的存活率，即出膜的仔鱼数量与所有产出鱼卵数量的比值(Yin, 1995)。产后死亡率(death after hatching, *SDH*)是指在一个繁殖季节死亡的亲鱼的数量与全部参加催产繁殖的数量的比值。

### 1.5 数据处理

各测量数据均采用平均数±标准误(mean±*SD*)。用单因素方差分析和回归分析比较分析处理数据，所有数据处理和制图均在Sigmaplot 2001和Statgraphic中进行。显著性水平为$P<0.05$。

## 2 结 果

### 2.1 亲鱼的培育

滇池金线鲃是杂食性鱼类，偏爱动物性饵料。饲养滇池金线鲃亲鱼时常用的饲料为的111鲤鱼种鱼饲料(颗粒直径=2.0 mm，通威股份有限公司昆明分公司)。饵料的日投喂量为亲鱼体重的3%左右，且应该视天气、水温和鱼的摄食情况灵活掌握，每次的投喂量以0.5~1 h吃完为度。一般一天投喂两

次, 上午和下午各一次。

滇池金线鲃以 IV 期卵巢越冬, 所以亲鱼的培育重点应该在夏、秋两季。冬天的投喂量以能维持正常生长即可。但是, 滇池金线鲃常年生活的水温较低环境中, 在冬季仍能大量觅食食物, 因此, 在天气晴好、水温较高时, 需酌情增加投喂量。在产前 1~2 个月, 应对亲鱼进行强化培育, 可以适当增加饵料中粗蛋白的含量, 以加速滇池金线鲃性腺成熟。在此期间以投喂颗粒饵料为主, 适当投喂水蚯蚓、昆虫等动物性饵料, 有助于亲鱼性腺发育。临近产卵, 亲鱼的摄食量明显减少, 表明滇池金线鲃亲鱼性腺发育成熟良好, 此时可以停止投喂, 以防止造成因饱食判断成熟度不准确。

在整个亲鱼培育期间, 冲水次数与频次依季节、水质肥瘦和鱼的摄食情况灵活掌握。通过加注新水, 可以改善水质。在秋末和冬季水温低时, 注水次数减少, 每 5~7 d 冲水 1 次, 每次 1 h 左右; 春季气温开始转暖时, 每隔 3~5 d 注水 1 次, 每次 1~2 h; 产前 1~2 个月可以适当增加冲水次数。前期一般 2~3 d 冲水 1 次, 后期 1~2 d 冲水 1 次, 每次冲水 2~3 h; 在催产前几天最好每天都冲水或给以微流水刺激, 以促进亲鱼性腺的进一步发育成熟。

### 2.2　繁殖力与卵径大小

根据 25 尾 IV～V 期性腺样品 1 056 粒沉积卵黄的卵粒统计分析, 滇池金线鲃怀卵量与体长存在的关系是 $F=0.0004826SL^{3.166}$($R^2=0.6424$, $P<0.05$)。四年来滇池金线鲃的平均产卵量为(2 118.4±899.1)粒, 平均怀卵量为(2402.9±881.9)粒, 平均相对怀卵量为(70.4±20.8)粒。怀卵量、产卵量和相对怀卵量都有随着体长的增加而增加的趋势, 三者与体长的关系可用下列方程表示:

$$F = 0.0006614SL^{3.102}$$

$$PE = 0.1267SL^{1.997}$$

$$RF = 100.8 - 0.2368SL$$

2007—2010 年间每年滇池金线鲃体长与产卵量、相对怀卵量的关系, 根据实测数据, 各年度的平均产卵量与相对怀卵量如表 1 所示, 同时它们之间的关系, 如图 1、2 所示。个体产卵量波动于 1 500～4500 粒之间, 平均为 2400 余粒。它与体长的关系是一个曲线增长关系。从表 1 和图 1、2 均可看出滇池金线鲃产卵量和相对怀卵量都随体长的增长而有规律性的增大。

通过历年的努力, 滇池金线鲃在产卵量、相对怀卵量、卵巢体积和卵径等方面有逐年提高的趋势。在繁殖季节, 通过控制一些外部因子, 如亲鱼饵料、繁殖的操作方法和水质等能提高鱼卵的质量, 进而提高鱼苗质量。

根据观察, 胚胎从受精发育到原肠胚晚期大概需要 48 h, 在这段时间内胚胎的死亡率均较低, 每个阶段死亡为 5%~10%之间(表 2), 不同卵大小胚胎的死亡呈现一种稳定的或低的死亡率, 即胚胎在完成原肠胚之前各胚胎发育时相的胚胎死亡率都较低; 进入体节期后, 因为卵子质量不佳而造成的孵化过程中的大量死胚。因为处于轻度过成熟的卵子, 即使精子进入卵内, 也能暂时出现卵裂, 但到原肠胚以后就会陆续出现畸形或中途死亡; 在孵化的

**表 1　2007—2010 年滇池金线鲃雌鱼的人工繁殖效果**

**Tab. 1　Results from artificial propagation of female *Sinocyclocheilus grahami* from 2007 to 2010**

| 项目 Items | Mean ± *SD* (50♀/Year) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 产出率 Spawning success (%) | $1819.6±695.2^{a3}$ | $1978.9±755.2^{ab}$ | $2180.1±853.8^{bc}$ | $2495.1±1113.8^{c}$ |
| 相对怀卵量 Relative fecundity (%) | $79.7±25.0^{a}$ | $62.8±12.2^{b}$ | $69.3±21.1^{bc}$ | $69.6±19.8^{c}$ |
| 卵巢体积 Ovary volume ($mm^3$) | $5509.3±3048.5^{a}$ | $7177.9±3891.5^{b}$ | $8300.9±4025.8^{b}$ | $10587.2±6038.0^{c}$ |
| 卵径 Egg size (mm) | $1.76± 0.17^{a}$ | $1.87± 0.13^{b}$ | $1.92± 0.11^{b}$ | $1.97±0.13^{c}$ |
| 相对怀卵量 Relative fecundity (%) | $90.8±27.4^{a}$ | $88.8±18.6^{a}$ | $91.8±28.4^{a}$ | $87.6±23.6^{a}$ |
| 催产率 Induced spawning success (%) | 25.2 | 74.8 | 90.3 | 91.3 |
| 核偏位率 Nucleus deviation rate (%) | $61.5±25.9^{a}$ | $86.6±11.6^{b}$ | $80.6±18.6^{b}$ | $85.2±17.9^{b}$ |
| 孵化率 Hatching success (%) | $34.9±22.1^{a}$ | $36.1±20.8^{a}$ | $30.4±21.4^{a}$ | $44.5±17.5^{b}$ |
| 生存率 Surviving success(%) | $27.0±22.9^{a}$ | $33.5±21.2^{a}$ | $26.9±21.4^{a}$ | $41.0±18.2^{b}$ |

同一行数值上标不同字母表示有显著差异 $P<0.05$; 相同字母表示无显著差异。

Values in the same row with different superscripts denote significant differences at $P<0.05$, same superscripts denote no significant difference.

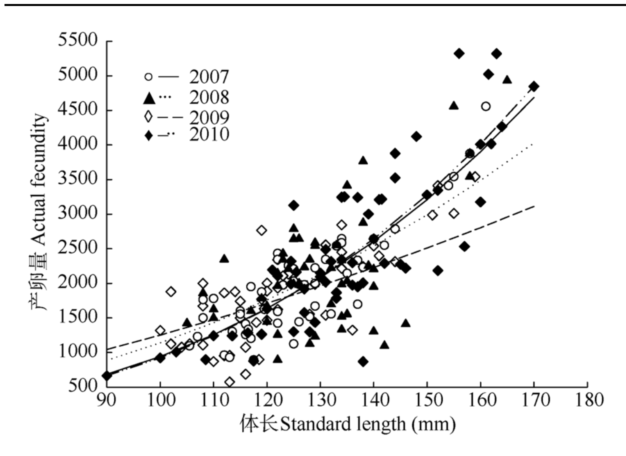



图 1 2007—2010 年滇池金线鲃产卵量与体长关系

Fig. 1 Relationship between number of spawned eggs and standard length of female *Sinocyclocheilus grahami* from 2007 to 2010

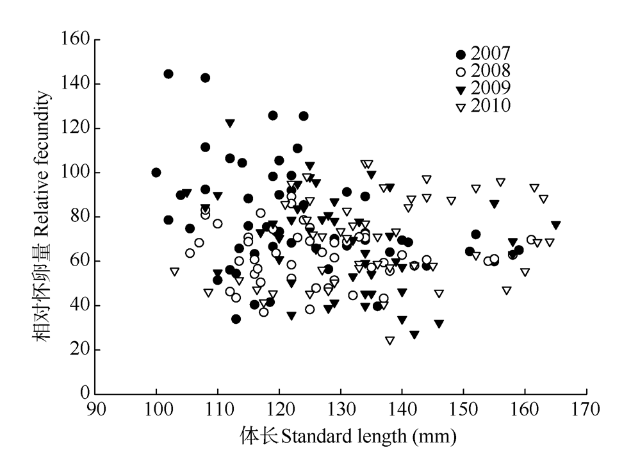



图 2 2007—2010 年滇池金线鲃相对怀卵量与体长关系

Fig. 2 Relationship between relative fecundity and standard length of *Sinocyclocheilus grahami* from 2007 to 2010

3~7 d 里不同大小的卵呈现不同的死亡率，即小的卵有更高的死亡率；而卵径达到 2.0 mm 以上胚胎死亡率趋于稳定，并保持较高的生存率，但各组的孵化率差异则较小(表 2)。

## 2.3 催产率、核偏位率和孵化率

由于技术的改进，在 4 年里催产率的提高最为明显，催产率由 2007 年的 25.2%提高到目前的 90%左右。除 2007 年对人工受精技术掌握的不够全面外，其它 3 年的鱼卵的核偏位率始终保持在 80%以上，在选择鱼卵最佳受精时间上有大幅度的提高；随着卵径的增加，相应的雌鱼卵巢的体积也随之增加(表 1，图 3)。而孵化率和生存率的提高比较缓慢，这主要与池塘驯养的鱼类出现生殖功能紊乱主要由于捕获诱发的压力和缺乏合适的繁殖条件引起的。

**表 2 滇池金线鲃不同卵径大小的胚胎存活率和孵化结果**

**Tab. 2 Differences in embryonic survival and hatching due to egg size of *Sinocyclocheilus grahami***

| | 平均卵径 Average of egg size (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ≤1.6 | (1.6, 1.8] | (1.8, 2.0] | >2.0 |
| 观察批次 Number of batches observed | 11 | 46 | 95 | 48 |
| 核偏位率 Nucleus deviation rate (%) | 27.0 | 56.6 | 87.5 | 93.3 |
| 胚胎存活率 Rate of embryonic survival (%) | | | | |
| 囊胚期 Blastula period | 90.1 | 92.5 | 91.3 | 94.9 |
| 原肠胚早期 Early gastrula period | 85.3 | 86.7 | 89.7 | 90.4 |
| 原肠胚晚期 Late gastrula period | 45.2 | 47.4 | 73.4 | 85.7 |
| 体节早期 Early segmentation period | 40.9 | 42.1 | 68.2 | 73.6 |
| 孵化期 Hatching period | 13.6 | 22.4 | 48.8 | 55.9 |
| 孵化率 Hatching success (%) | 29.3 | 37.4 | 43.7 | 54.1 |
| 生存率 Survival success (%) | 11.1 | 19.4 | 40.2 | 52.4 |

## 2.4 亲鱼护理

在进行滇池金线鲃人工繁殖的四年中，产后雌雄亲鱼的死亡率均低于 0.5%，雌鱼每一个繁殖季节的死亡率变化不大，而雄鱼的死亡率则逐年下降，2010 年雄鱼的死亡率仅 0.152%(表 3)。在每年死亡的亲鱼中，多数为人工繁殖操作和亲鱼难产造成，

**表 3 2007—2010 年人工繁殖用滇池金线鲃的体长、体重和肥满度**

**Tab. 3 Standard length, body weight and condition factor of *Sinocyclocheilus grahami* for artificial propagation from 2007 to 2010**

| 项目 Items | 2007 | | 2008 | | 2009 | | 2010 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ♀ | ♂ | ♀ | ♂ | ♀ | ♂ | ♀ | ♂ |
| 测量数量 NR[1] | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 体重(g) W | 24.0±10.3 | 16.1±3.2 | 31.7±11.0 | 18.7±8.1 | 32.3±9.8 | 23.4±11.5 | 35.5±11.1 | 30.3±13.2 |
| 体长(mm) SL | 122.7±14.2 | 101.2±3.5 | 126.3±13.2 | 109.5±9.7 | 130.0±12.6 | 118.8±10.9 | 135.8±14.4 | 125.2±12.7 |
| 体重-体长关系 $W=aSL^b$ | $W=0.018SL^{2.83}$ | $W=0.017SL^{2.74}$ | $W=0.011SL^{3.02}$ | $W=0.014SL^{2.93}$ | $W=0.015SL^{2.98}$ | $W=0.012SL^{2.77}$ | $W=0.024SL^{2.79}$ | $W=0.022SL^{2.65}$ |
| 肥满度 CF | 1.006±0.10 | 1.010±0.02 | 0.999±0.03 | 1.032±0.07 | 1.004±0.06 | 0.9754±0.04 | 1.007±0.11 | 0.9856±0.02 |
| 繁殖总量 NT | 1127 | 2589 | 1984 | 3502 | 2449 | 3081 | 2512 | 3301 |
| 产后死亡率(%) SDH | 0.354 | 0.386 | 0.454 | 0.400 | 0.449 | 0.227 | 0.477 | 0.152 |

NR[1] = Number of fish researched; NT = Number of total broodstocks in each years.

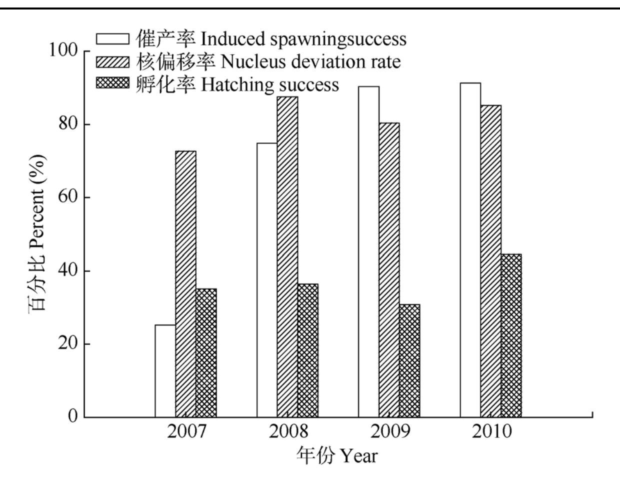



图 3 2007—2010 年滇池金线鲃的催产率、核偏位率和孵化率

Fig. 3 Induced spawning success, nucleus deviation rate and hatching success of *Sinocyclocheilus grahami* from 2007 to 2010

占全部死亡的 80%左右; 同时, 在繁殖过程中, 亲鱼因发情、产卵等生殖活动, 体力消耗很大, 对疾病的抵抗能力变弱, 加上进行人工繁殖的多重操作, 往往会引起亲鱼腹部或体侧充血, 皮肤损伤, 体表创伤, 稍有管理不善, 极易继发肤霉病。因此, 应对产后的亲鱼应精心护理。在四年的人工繁殖中, 对亲鱼进行护理的基本要点是：拉网时细心操作; 亲鱼入池后, 精心饲养, 为下一年度的人工繁殖提供优良的亲鱼做准备。

## 3 讨 论

### 3.1 亲鱼培育技术及其效果

亲鱼培育技术的形成主要通过了解需要培育亲鱼性腺发育特点、繁殖习性和影响产卵繁殖的生态环境因素。在生产实践中逐步掌握该种鱼类日常生活习性和性成熟对水溶解氧、温度、pH 值、水流速度等的基本要求, 探讨如何通过人工途径满足其基本物理化学环境的途径和方法, 达到实现其人工繁殖成功, 并获得大量高质量鱼卵和仔鱼。四年的人工繁殖实践显示：一套亲鱼培育方案并不能满足所有饲养的种群。但随着滇池金线鲃自然种群逐渐适应池塘养殖环境和亲鱼培育方案的完善, 也越来越容易获得高质量的鱼卵和精子。鱼类人工繁殖技术在传统渔业上, 为水产养殖提供了大量养殖的鱼苗。但随着鱼类种群数量的衰退, 近年来, 在防止南美鲑形目鱼类种群数量的衰退中, 鱼类人工繁殖迅速扮演了另外一个角色, 即促进了鱼类种群的保护, 如果银大麻哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)没有及时制定周详的种群恢复计划(包括鱼类繁育计划), 银大麻哈鱼可能在几十年前就消失了(National Marine Fisheries Service, 2010)。

亲鱼培育技术可以通过繁殖中所获得鱼卵质量的好坏的加以改进与完善, 而鱼卵质量的提高有赖于培育出高质量的亲鱼。但是在人工养殖实践中, 判定和评价鱼卵质量十分困难, 这主要是在孵化鱼卵过程中很难模拟出鱼卵最佳的孵化条件。狼鲈(*Dicentrarchus labrax*)和金头鲷(*Sparus auratus*)的孵化率一般只有 5%~15%, 大西洋庸鲽(*Hippoglossus hippoglossus*)的孵化率更低, 仅仅 1%的孵化率(Brooks et al, 1997)。但是如果孵化率超过 50%, 鱼卵质量评价体系则可以建立, 卵子和精子质量评价体系的建立有助于改进和完善亲鱼培育方案。

### 3.2 亲鱼培育与催产效果的关系

一些具有重要经济价值的鱼类, 试图通过人工环境下, 扩大其繁殖规模, 但往往很难达到此目的。这主要是由于在人工饲养环境下鱼类的生殖功能紊乱引起的, 而且往往表现在雌鱼方面(Gui et al, 2007); 亲鱼培育的首要任务是尽可能减少捕获所诱发的压力和加强培育过程中亲鱼的营养需求, 以期获得最好的繁殖效果(Cabrita et al, 2009)。通过统计催产率可以评价亲鱼培育和催产技术的效果, 并能为下一繁殖季的亲鱼培育提供改进依据。滇池金线鲃亲鱼催产效果分为 3 种：全产(个体催产率：80%～100%)、半产(20%～80%)和不产(0%～20%)。雌亲鱼在激素的作用下, 控制好水温, 基本能在预定的时间内通过人工挤卵的方式将成熟的卵子全部排空, 其特征是雌鱼腹部明显空瘪, 腹腔内没有或仅有极少数卵子残存。催产效果为半产的个体主要是由于雌鱼的体质较差、受伤较重等因素引起的; 可能也与催产激素注射后的水温偏低和外界惊动干扰所致, 导致雌鱼成熟度较差, 导致卵巢内的卵子发育不整齐。半产的卵子通常受精率和出膜率均较低。亲鱼不产主要原因是亲鱼成熟度很差或已经退化, 也可能是亲鱼培育期间发生比较严重的鱼病, 造成亲鱼培育不够。雌鱼腹部异常膨大, 轻挤腹部时, 挤不出卵, 只有混浊略带黄色的液体或血水流出。主要是因为卵巢过熟并且已经退化, 注射的激素剂量过大也能导致卵的成熟和排卵失调, 或可能是由于雌亲鱼体质差, 鱼体受伤或生殖孔被卵块堵塞, 亲鱼难产或滞产引起的。

因此, 在亲鱼培育管理中要最大限度地降低捕

获诱发的压力, 尽量提供适合的养殖条件, 如池塘的大小、水质和光强度等, 但是对于许多鱼类而言, 要完全模仿鱼类繁殖季节的生态环境几乎是不可能。确保滇池金线鲃在繁殖季节成功繁殖, 首要考虑的因素是亲鱼培育阶段的营养, 其次是池塘环境、水质、空间和温度等。

### 3.3 卵径大小与胚胎存活

在胚胎发育过程中, 胚胎的死亡原因是多样的, 但在胚胎发育的前两天, 不同批次胚胎的死亡呈现一种稳定的或低的死亡率; 而后的 7 d 里不同大小的卵呈现不同的死亡率, 卵径达到 2.0 mm 以上的胚胎死亡率趋于稳定, 而大小不均一、平均卵径小于 2.0 mm 的鱼卵的死亡率较高。这表明，各个阶段胚胎的存活率与卵径大小有关, 一般卵大的胚胎更容易存活, 但是由于在孵化过程中胚胎发育的各个阶段对温度、溶氧和 pH 的敏感度不同, 也可能导致胚胎畸形或死亡。这说明雌鱼性腺发育程度不好, 其真实的受精率很低, 并可能导致生存率低。前两组(<1.8)在原肠期的大量“死亡”的卵很可能是未受精的, 后两组因受精率较高因而没有原肠胚死亡率较高的阶段。

通常认为, 大卵径的鱼卵质量优于小卵径的鱼卵, 但是雌鱼产出鱼卵的大小受食物时空变化、性成熟年龄、捕食和自身体长等的影响(Brooks et al, 1997), 因此, 亲鱼培育的效果好坏直接反映在鱼卵质量上, 可以从外观上鉴别鱼卵质量的优劣。质量较高的鱼卵呈橙黄色, 大小比较均匀、饱满, 且弹性强。受精率比较高, 吸水后迅速膨胀。在胚胎发育过程中, 所有胚胎的时相比较均一, 时序正常。不熟或过熟的卵子颜色较淡, 大小不均匀, 受精率低, 不圆, 弹性差, 吸水膨胀较慢或吸水差, 卵裂不整齐, 通常在神经胚之前胚胎大量裂解。

在滇池金线鲃人工繁殖的生产实践中, 对每尾雌性亲鱼的卵子直径测量时发现, 部分亲鱼的鱼卵里掺杂着少数“白卵”。据测量结果, “白卵”卵径, 一般为小于 1.8 mm, 属于不成熟卵子。这部分卵子主要是随着人工繁殖过程中, 挤压鱼的腹部随着成熟的卵子流出体外。抚仙金线鲃的人工繁殖也有类似的情况, 其受精率达到 80%, 但是孵化率较低(Pan et al, 2009a)。

### 3.4 亲鱼产后低死亡率的意义

滇池金线鲃属于国家II级的保护动物, 其野外种质资源十分稀少和珍贵, 进行野外引种和驯养繁殖需要办理《中华人民共和国水生野生动物驯养繁殖许可证》和《中华人民共和国水生野生动物经营利用许可证》。如果亲鱼产后的死亡率过高, 不可避免地需要每年从野外进行引种, 这无疑会对本来就十分濒危的野外种群造成不小的压力。再加上对圈养种群的遗传多样性缺乏有效的管理、盲目放流, 势必不利于滇池金线鲃的长期保育工作的开展。四年来始终将产后亲鱼的死亡率控制在 0.5%以内, 不仅避免重复引种, 辅之对圈养种群不同地方种群的遗传多样性管理和科学的进行增殖放流, 是有效保护滇池金线鲃的途径之一。

## 参考文献：


Bonnet E, Fostier A, Bobe J. 2007. Characterization of rainbow trout egg quality: a case study using four different breeding protocols, with emphasis on the incidence of embryonic malformations[J]. *Theriogenology*, **67**(2007): 786-794.

Brooks S, Tyler CR, Sumpter JP. 1997. Egg quality in fish: what makes a good egg?[J]. *Rev Fish Biol Fish*, **7**(4): 387-416.

Brzuska E. 2003. Artificial propagation of African catfish (*Clarias gariepinus*): differences between reproduction effects after stimulation of ovulation with carp pituitary homogenate or GnRH-a and dopaminergic inhibitor[J]. *Czech J Anim Sci*, **48**(5): 181-190.

Cadrin SX, Friedland KD, Waldman JR. 2005. Stock Identification Methods: Applications in Fishery Science[M]. Blackwell Scientific Publications Ltd. 1-719.

Chen YR, Yang JX, Li ZY. 1998. The diversity and present status of fishes in Yunnan Province[J]. *Biodivers Sci*, **6**(4): 272-277. [陈银瑞, 杨君兴, 李再云. 1998. 云南鱼类多样性和面临的危机. 生物多样性, **6**(4): 272-277.]

Chu XL, Cui GH. 1985. A revision of Chinese cyprinid genus *Sinocyclocheilus* with reference to the interspecific relationships[J]. *Acta Zootax Sin*, **10**(4): 435-441. [褚新洛, 崔桂华. 1985. 金线鲃属的初步整理及其种间亲缘关系. 动物分类学报, **10**(4): 435-441.]

Gui JF, Zhou L, Wu QJ, Li WS, Zhou RJ, Chen HH, Yang H, Zou ZY. 2007. Genetic Basis and Artificial Control of Sexuality and Reproduction in fish[M]. Beijing: Science Press, 1-247. [桂建芳, 周 莉, 吴清江, 李文笙, 周荣家, 程汉华, 杨 宏, 邹芝英. 2007. 鱼类性别和生殖的遗传基础及其人工控制. 北京: 科学出版社, 1-247.]

Gullu K, Guner Y, Koru E, Tenekecioglu E, Saygi H. 2008. Artificial spawning and feeding of European catfish, *Siluris glanis* L., in Turkey[J]. *J Anim Vet Adv*, **7**(10): 1285-1291.

Izquierdo MS, Fernandez-Palacios H, Tacon AGJ. 2001. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance fish[J]. *Aquaculture*, **197**(1-4): 25-42.

Kreiner A, Van Der Lingen CD, Preon P. 2001. A comparison of condition factor and gonadosomatic index of *Sardine sardinops* stocks in the northern and southern Benguela upwelling ecosystems, 1984 - 1999[J]. *South African J Mar Sci*, **23**(1):123-134.

Ma L, Pan XF, Wei YH, Li ZY, Li CC, Yang JX, Mao BY. 2008. Embryonic stages and eye-specific gene expression of the local cyprinoid fish

*Anabarilius grahami* in fuxian lake, China[J]. *J Fish Biol*, **73**(8): 1946-1959.

National Marine Fisheries Service. 2010. Public Draft Recovery Plan for Central California Coast coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) Evolutionarily Significant Unit[R]. National Marine Fisheries Service, Southwest Region, Santa Rosa, California.

Pan XF, Liu SW, Li ZY, Yang JX. 2009a. Artificial propagation and larvae cultivation of *Sinocyclocheilus tingi*[J]. *Zool Res*, **30**(4): 463-467. [潘晓赋, 刘淑伟, 李再云, 杨君兴. 2009a. 抚仙金线鲃人工繁殖与鱼苗培育技术. 动物学研究, **30**(4): 463-467]

Pan XF, Yang JX, Li ZY, Chen XY. 2009b. Feeding changes and growth performance of *Sinocyclocheilus grahami* (Pisces, Barbinae) larvae and juveniles in farm environment[J]. *Zool Res*, **30**(4): 433-437. [潘晓赋, 杨君兴, 李再云, 陈小勇. 2009b. 池塘养殖环境下滇池金线鲃仔雅鱼的食性转化与生长. 动物学研究, **30**(4): 433-437]

Pan XF, Chen XY, Yang JX. 2009c. Threatened fishes of the world: *Sinocyclocheilus grahami* (Regan) 1904 (Cyprinidae) [J]. *Environ Biol fish*, **85**(1): 77-78.

Slater CH, Schreck CB, Amend DF. 1995. GnRHa injection accelerates final maturation and ovulation/spermiation of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in both fresh and salt water[J]. *Aquaculture*, **130**(1): 279-285.

Wang DZ, Chen YY, Li XY. 1999. An analysis on the phylogeny of the genus *Sinocyclocheilus* (Cypriniformes: Cyprinidae: Barbinae)[J]. *Acta Acad Med Zunyi*, **22**(1): 16. [王大忠, 陈宜瑜, 李学英. 1999. 金线鲃属的系统发育分析(鲤形目: 鲤科: 鲃亚科). 遵义医学院学报, **22**(1): 1-6.]

Yan H, Gao H, Li DY, Dong WH, Yu C, Huang YX. 2009. Preliminary study on artificial reproduction of *Sinocyclocheilus oxycephalus*[J]. *J Hydroecol*, **2**(4): 143-145. [严　晖, 高　惠, 李德运, 董文红, 余春, 黄云仙. 2009. 尖头金线鲃人工繁殖初步研究. 水生态学杂志, **2**(4): 143-145.]

Yang JX, Pan XF, Li ZY. 2007. Preliminary report on the successful breeding of the endangered fish *Sinocyclocheilus grahami* endemic to Dianchi lake[J]. *Zool Res*, **28**(3): 329-331. [杨君兴, 潘晓赋, 李再云. 2007. 云南滇池濒危特有种滇池金线鲃人工繁殖初报. 动物学研究, **28**(3): 329-331.]

Yin MC. 1995. Ecology of fishes[M]. Beijing: Agriculture of China Press, 1-293. [殷名称. 1995. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社, 1-293.]

Yue PQ, Chen YY. 1998. China Red Data Book of Endangered Animals: Pisces [M]. Beijing: Science Press, 104-106. [乐佩琦, 陈宜瑜. 1998. 中国濒危动物红皮书(鱼类卷). 北京: 科学出版社, 104-106.]

Zhao YH, Zhang CG. 2006. Past research and future development on endemic Chinese cavefish of the genus *Sinocyclocheilus* (Cypriniformes, Cyprinidae)[J]. *Acta Zootax Sin* **31**(4): 769-777. [赵亚辉, 张春光. 2006. 中国特有金线鲃属鱼类研究的回顾与展望(鲤形目, 鲤科). 动物分类学报, **31**(4): 769-777.]

Zhao YH, Zhang CG. 2009. Endemic fishes of *Sinocyclocheilus* (Cypriniformes: Cyprinidae) in China - species diversity, cave adaptation, systematics and zoogeography[M]. Beijing: Science Press, 1-271. [赵亚辉, 张春光. 2009. 中国特有金线鲃属鱼类—物种多样性、洞穴适应、系统演化和动物地理. 北京: 科学出版社, 1-271.]